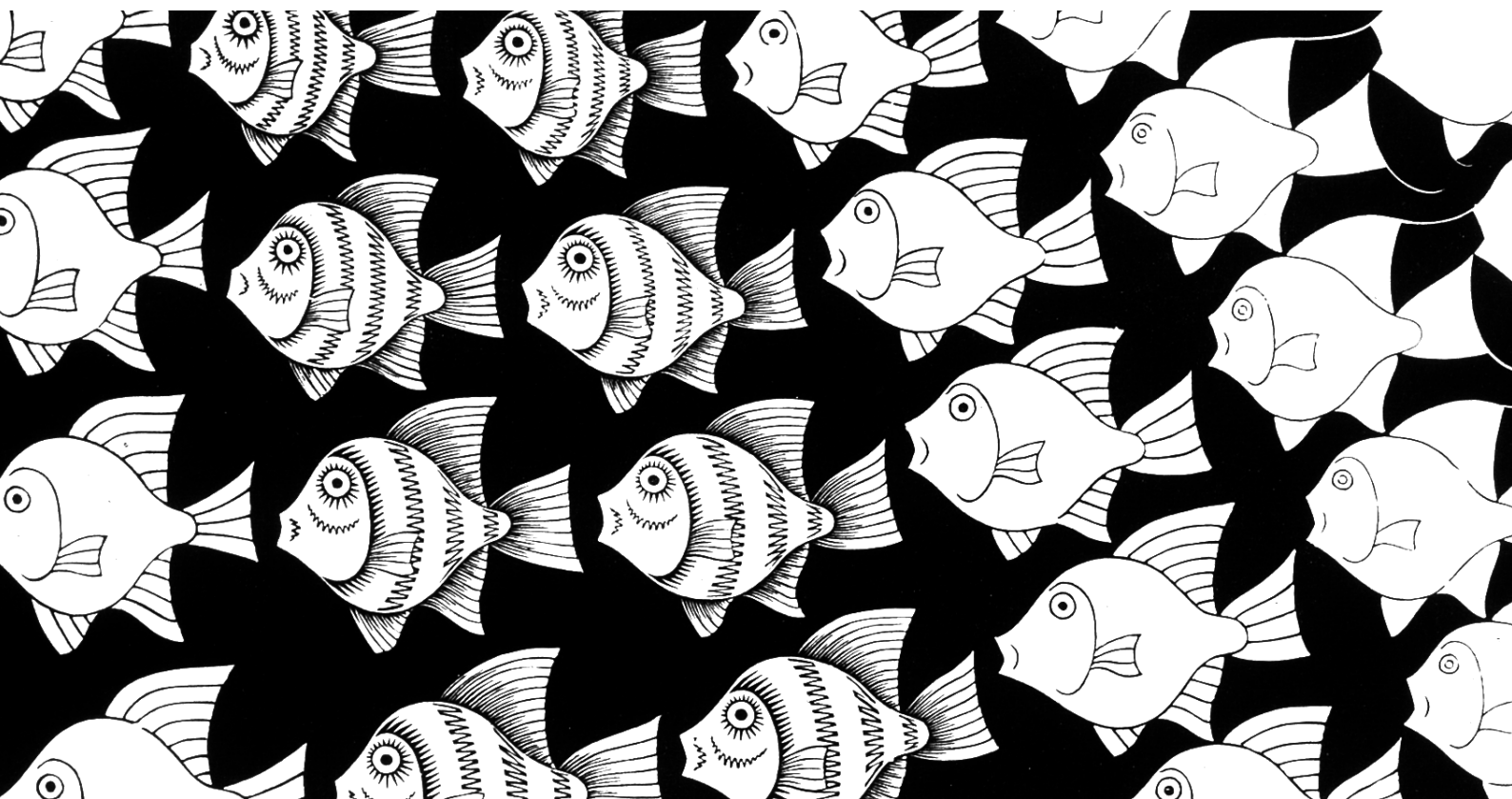


"השאלה היא מדוע המציאות הפיזית כה טבעית וקלה לתפיסה כאשר אנו עוסקים בפיזיקה בממדים אנושיים (כמו זו של ניוטון), אך היא מצטיירת כמוזרה ובלתי נתפסת כאשר אנו עוברים לממדים הקטנים ביותר (מכניקת הקוואנטים), או לממדים הגדולים ביותר (תורת היחסות)"

060



מופּוּוּנִים לפּנּפּזיוֹת

האם מוחנו תופס את המציאות כפי שהיא שם בחוץ, או שאנו מייצרים תמונות וידיאליות המתאימות לצרכי ההישרדות שלנו? מחקרי המוח, כמו גם תיאוריות פסיכולוגיות, מציעים דאיות משכנעות לטענה שאנו בונים במוחנו עולם פנימי ללא קשר הכרחי למציאות. פרופסור דפי מלאך מחבר בין דרכי הבניית תמונות על־ידי המוח לתורת הקוואנטים ולשאלת הגוף והנפש

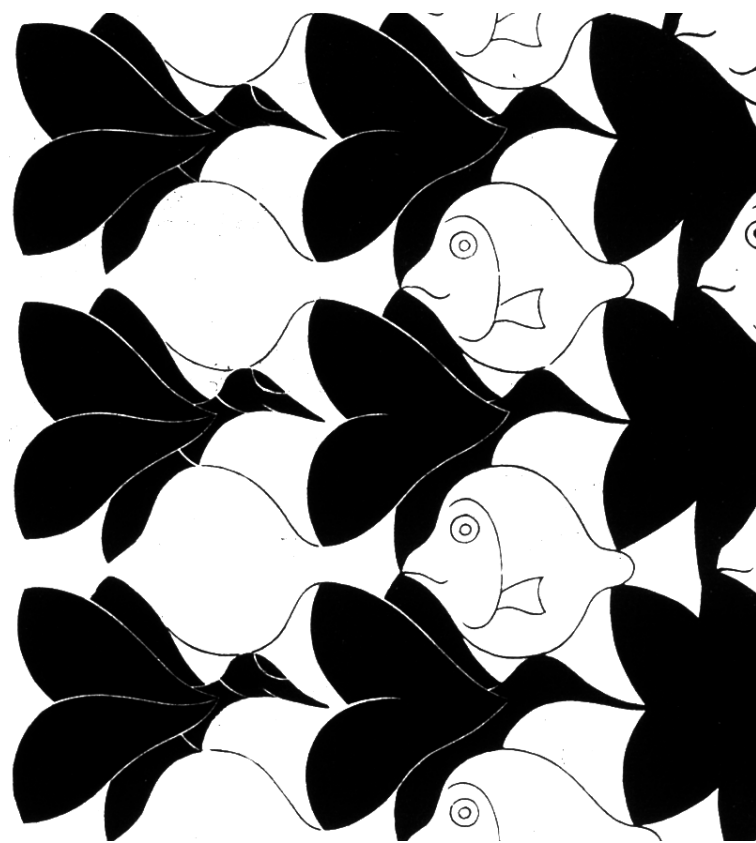
■ ממצאים שהתקבלו לאחרונה בחקר מוח האדם מעלים תוצאה מפתיעה: יצירת דימויים מנטאליים (תמונות ראייתיות) היא תהליך פנימי המתרחש בתאי העצב של המוח (נוירונים) ואינו מייצג בהכרח את המתרחש בעולם הפיזי החיצוני. התוצאות הללו עולות בקנה אחד עם מסורת ארוכה בתחום הפסיכולוגיה של החושים, הטוענת כי הדימויים שאנו רואים נוצרים במוחנו בתהליך של סימולציה פנימית החיונית לתפקודנו, אך לעיתים קרובות אינה קשורה למידע הפיזי שסביבנו. אנו יוצרים במוחנו את מה שאנחנו רואים. תיאוריה כזו נוגדת את האינטואיציה שלנו, ובהמשך אציג חלק מהממצאים ומהמחקרים התומכים בכונותה. אם אכן זה מה שמתרחש במוחנו, אני רוצה לטעון כי לשתי בעיות יסוד מרכזיות במדע - זו של פרשנות מכניקת הקוואנטים זו העוסקת בבסיס הפיזי של התודעה (שאלת הדואליזם או הבעיה הפסיכופיזית) - יש מכנה משותף. לשתיהן צריך ואפשר להתייחס לאו דווקא כבעיות מדעיות, אלא כבעיות של תפיסה אנושית.

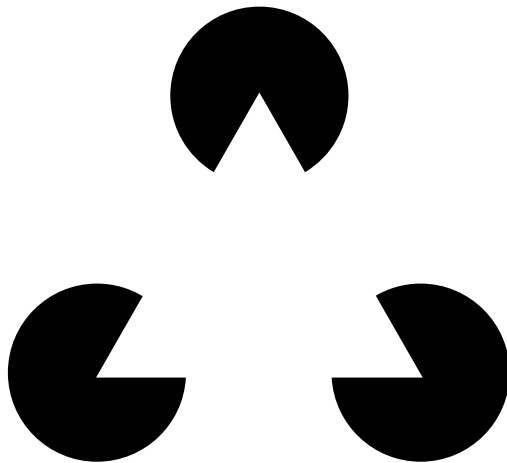
ניסוי "שני החריצים"

ב"תחרות" על תואר הניסוי היפה ביותר בתולדות הפיזיקה הגיע למקום הראשון ניסוי "שני החריצים" של ורנר הייזנברג. הניסוי מצטיין באלגנטיות ויש

הניסוי הקלאסי של תורת הקוואנטים. קיר ובו שני חריצים ובצידו האחר לוח פוטוגרפי. מקור האור פולט רק פוטון אחד בכל פרק־זמן נתון לכיוון הקיר. התוצאה המפתיעה שחשף הייזנברג היא שפוטון מתנהג גם כגל וגם כחלקיק

בו משמעותיות עמוקות העוזרות להבנתנו את טבע המציאות הפיזית, אבל תוצאתו נוגדת את ההיגיון שלנו מאחר והיא סותרת את הציפיות





איור 1: משולש קניז'ה: אין משולש

האם המציאות הפיזית אובייקטיבית?

אילו נערכה תחרות על תואר הניסוי האלגנטי ביותר בחקר התפיסה האנושית, הייתי בוחר באשליה החזותית היפהפייה בפשטותה אך מנוגדת לכל כללי האינטואיציה, זו המכונה "משולש קניז'ה" (ראה תרשים 1). "המשולש" הזה הוא אשליה. הוא נוצר על ידי שלושה עיגולים נפרדים, שמהם נגזרות צלעות משולש, אך עם זאת הוא יוצר רושם של משולש שלם. העניין העמוק העולה מן האשליה הזאת הוא שלמרות שלא קיים משולש פיזי על המסך, לא על פני השטח או בדפוס הפוטונים הנקלטים בעינינו, המערכת החושית שלנו מבטלת את המידע הפיזיקלי הנכון - אין במציאות שום משולש - ויוצרת במקומו דימוי חזותי שגוי של משולש הכולל פני שטח וקווי מתאר. במילים אחרות, "משולש קניז'ה" מוכיח לנו את העובדה המוזרה כי מה שאנו רואים אינו עולה בהכרח בקנה אחד עם המציאות האובייקטיבית שמחוזה לנו. במקרה זה, מה שאנו רואים אפילו

<< האינטואיטיביות והשכל הישר. אנו נוטים לראות בפוטון (חלקיק יסודי) חלקיק יחיד הנע במסלול מסוים, מתברר שהחלקיק הזה "עובר" בדרך כלשהי בשני החריצים בעת ובעונה אחת!

התופעה כונתה גם "בעיית הכפילות של גל החלקיקים". חלקיקים יכולים לגלות בעת ובעונה אחת מאפיינים של גלים המתפשטים במרחב וגם של חלקיקים הממוקמים בנקודה מוגדרת בחלל. כל ניסיון להבין את תיאוריית הקוואנטים בדרך אינטואיטיבית, נכשל. יש לנו קושי לתפוס את המציאות הפיזית האובייקטיבית כפי שהיא נחשפת ברמת המיקרו - בחלקיקים הקטנים ביותר.

בעיית תפיסה דומה מתרחשת כאשר אנו עוסקים באובייקטים גדולים במיוחד - במרחקים ובמהירויות כפי שהם מתגלים באמצעות תיאוריות היחסות הפרטית והכללית. קשה לנו לתפוס אינטואיטיבית את אופי ותכונות המרחב והזמן שחשף אינשטיין. העובדה ששני אירועים עשויים להיראות לצופה המשקיף עליהם כאילו הם מתרחשים בעת ובעונה אחת, ולצופה אחר נדמה שהם נפרדים זה מזה בזמן, כמו גם הרעיון שאפשר "לעקם" את המרחב אינה נתפסת.

רק ברמת הביניים, זו של הפיזיקה הניוטונית, שבה הפרופורציות הן "אנושיות", קל לנו לתפוס את התופעות הפיזיקליות. האינטואיציה שלנו מתיישבת בלא קושי עם העולם הפיזי כאשר אנו מסבירים אותו על-פי התיאוריות של ניוטון.

חוקי הפיזיקה קיימים בכל קנה מידה, מהחלקיקים הקטנים ועד למרחבי היקום. אייחולת האינטואיטיבית שלנו לקלוט אותם בתחומים מסוימים, אינה קשורה לטבע ולמציאות, אלא דווקא ליכולת התפיסה שלנו - לתחום ההכרה והקוגניציה האנושית. לכן, השאלה היא מדוע המציאות הפיזית כה טבעית וקלה לתפיסה כאשר אנו עוסקים בפיזיקה בממדים אנושיים (כמו זו של ניוטון), אך מצטיירת כמוזרה ובלתי נתפסת כאשר אנו עוברים לממדים הקטנים ביותר (מכניקת הקוואנטים), או לממדים הגדולים ביותר (תורת היחסות).

"כל מגוון התוצאות בניסויים אלה מוביל למסקנה המנוגדת בצורה קיצונית לאינטואיציה שלנו. בעקרון, איננו רואים את העולם החיצון - אנחנו יכולים לראות רק את הדימויים שאנו יוצרים במוחנו. כיוון שדימויים אלה אינם שיקוף נאמן של המציאות, אין טעם בניסיון לשער כיצד נראית באמת המציאות כשלעצמה"

דרמטית לפער בין המציאות האובייקטיבית והראיה התגלית במכון ויצמן על ידי ד"ר יורם בונה ופרופ' דב שגיא - באשליה הנקראת "עיוורון מושרה תנועה". באשליה זו עיגולים צהובים נעלמים לגמרי עקב תנועה של ענן ברקיע - למרות שאופטית העיגולים אינם משתנים כלל.

אחת הדוגמאות הבולטות לפער בין הראייה שלנו למציאות האובייקטיבית אפשר למצוא בקבוצת דימויים המכונה "עצמים בלתי אפשריים". כאן מחוללת מערכת הראייה שלנו דימויים תפיסתיים לא פיזיקליים במובהק (ראו איור 3 בעמוד הבא). כלומר, הם אינם יכולים להתקיים אולשקף את המציאות הפיזית. העניין החשוב ביותר הוא שלמרות שהדימויים הללו מפרים באורח בוטה אפילו את הכללים הגיאומטריים פיזיקליים הפשוטים ביותר, מסוגלת מערכת הראייה שלנו ליצור את הדימויים הללו בלי קושי, והם נראים אמיתיים וברורים ככל דימוי אחר. רק כאשר אנו מיישמים את החשיבה הלוגית הלא-חזותית שלנו, אנו מגיעים למסקנה הקוגניטיבית (גם היא לא-חזותית), שלא ייתכן שדימויים כאלה קיימים במציאות. פער זה בין הראייה והמציאות ריתק גם מספר ציירים כגון אשר, סלבאדור דאלי ורנה מגריט, שהטמיעו תובנות אלה בעבודותיהם.

הניתוק בין מנגנוני ראייה במוח למציאות הפיזיקלית

אפשר לטעון, שההוכחות שראינו עד כה לאופייה היצירתית של התפיסה החזותית אינן אלא דוגמה לאופי המסתורי והמערפל של התופעות הפסיכולוגיות בכלל. אבל מחקרים בנושא מנגנוני התפיסה במוח האדם מחזקים ומאשרים את הפער בין התפיסה למציאות ואת העובדה כי המוח מייצר תמונות משלו.

לאחרונה נערכו מחקרים בתחום הרשתות הניורולוגיות (עצביות) הקשורות לתפיסה החושית במוח האדם. נעשה ניסיון לבדוק את ההתאמה בין פעילות המוח למידע הפיזי החיצוני. שוב ושוב עלה מן הניסויים כי הפעילות המתרחשת במרכזי ראייה בקליפת המוח (המרכזים האחראים על התפיסה החושית) עשויה להיות מנותקת לחלוטין מהמציאות הפיזית. למשל, בניסוי של הדמיית מוח שערכנו בשיתוף עם ד"ר אורי חסון הוצגו לנבדקים תמונות "דו-משמעיות" בדומה לתמונה של רובין (ראה איור 2), שבה אנו "מייצרים" תמונות שונות (אגרטל או פרצופים) למרות שהגירוי האופטי נשאר קבוע. התגלה שפעילות תאי העצב במרכזי ראייה הקשורים לתפיסת פרצופים עלתה וירדה בהתאם לתמונה שיצרו הנבדקים במוחם. כשהנבדקים ראו את הפרצופים עלתה הפעילות, וכשהם ראו את האגרטל - ירדה הפעילות. כל זאת למרות שהגירוי האופטי הפיזיקלי שהגיע לעיניים כלל לא השתנה!

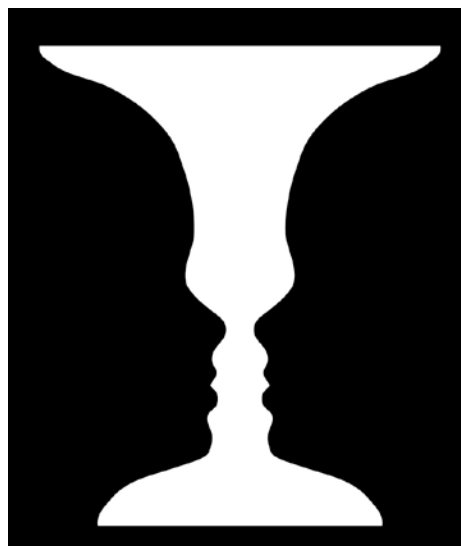
דוגמה מאלפת נוספת לדיסוציאציות כאלו אפשר למצוא בהצגת תמונות שונות לשתי העיניים, היוצרת תופעה המכונה "יריבות דו-עינית", שבה הדמות החזותית משתנה בצורה דינמית בין התמונות. גם תהליך זה הוא אוטונומי למערכת הראייה, כיוון שהגירויים הפיזיים שמגיעים לעיניים כלל אינם משתנים ונותרים כפי שהיו. בניסוי הדמיית מוח של נבדקים

עומד בסתירה למציאות האובייקטיבית. הדימויים שאנו "רואים" הם יצירה פנימית, מעין המצאה של תאי העצבים במוח הוויזואלי שלנו.

הינתקות מהמציאות הפיזית היא תופעה שכיחה

בשלב זה עלולים קוראים אחדים למחות ולומר שהטענות מרחיקות הלכת הללו מפרזות בערכו של "משולש קניז'ה" הצנוע. אולי, הם עשויים לטעון, בתנאי מעבדה מיוחדים אנו יכולים "להוליך שולל" את העין, אך במצבי יום-יום טבעיים אנחנו רואים את מה שקיים בשטח, הלא כן? ראשית, בכל תיאוריה מדעית די להביא דוגמה נגדית אחת כדי למוטט את המבנה התיאורטי. לכן, אם התיאוריה גורסת שהראייה שלנו מייצגת במדויק מציאות פיזית אובייקטיבית, ממוטט "משולש קניז'ה" את הטיעון הזה בהוכיחו, כי יכול להיות מצב שבו יש לנו תמונה ברורה (משולש) העומדת בסתירה גמורה למציאות הפיזית החיצונית (שבה אין משולש). מעבר לכך, מסורת ניסויים ארוכת ימים שהחלה בעבודה הקלאסית של הרמן פון-הלמהולץ ושל פסיכולוגיית הגשטאלט, הניבה אינספור דוגמאות שכולן הוכיחו את התופעה הבסיסית: מה שאנחנו רואים אינו מהווה ייצוג של העולם החיצון, אלא דגם אוטונומי הנוצר בתוכנו פנימה. עבור המדענים העוסקים בתחום, זו תופעה כמעט מובנת מאליה.

לדוגמה, תמונות פיזיות מסוימות, כגון אשליית פני האגרטל הידועה של רובין (תרשים 2), מביאות ליצירת דימויים חזותיים לא קבועים, **דמויות דו-משמעיות**, הנעות בין "פרשנויות" שונות (שני פרופילים שחורים או אגרטל לבן) למרות שהדגם הפיזי (הגירוי האופטי) נותר קבוע. אנחנו יכולים גם "לבנות" כרצוננו את יצירת הדימוי החזותי במוחנו על-ידי כיוון תשומת הלב הרצונית שלנו להיבטים שונים של התמונה. המחשה



איור 2: האגרטל של רובין: הראייה משתנה הפיזיקה לא

בתנאי יריבות עינית הוכח בצורה שאינה משתמעת לשתי פנים, שמרכזי המוח הנקשרים עם התפיסה החזותית פועלים ומשתתקים בהתאמה מלאה לתמונה הראייתית הנוצרת במוחו של הנבדק, ובניגוד למציאות הפיזית הקבועה.

ולבסוף, דוגמה דרמטית במיוחד לאופי העצמאי של תהליכי תפיסה המתרחשים במוח האדם. בניסוי שערכנו בשיתוף עם הגר גלברד-שגיב, פרופ' יצחק פריד מאוניברסיטת יו.סי.אל.אי. ואחרים - הצלחנו להראות שאפילו עם סילוק של כל גירוי חזותי חיצוני, כאשר אדם נזכר בדימוי כלשהו (אפילו בחושך) מגלים הניירונים במוח האדם יכולת ראויה לציון של "שחזור מחדש" של אותם דפוסי פעילות שהיו להם בזמן חשיפה לגירויים אופטיים. להדגמה כיצד פעילות תא עצב במוח האדם "משחזרת" חוויה מנטאלית ללא כל גירוי מבחוץ ראה:

<http://www.youtube.com/watch?v=ySCyFEyUrW>

כל מגוון התוצאות בניסויים אלה מוביל למסקנה המנוגדת בצורה קיצונית לאינטואיציה שלנו. בעיקרון, איננו רואים את העולם החיצון - אנחנו יכולים לראות רק את הדימויים שאנו יוצרים במוחנו. כיוון שדימויים אלה אף פעם אינם שיקוף נאמן של המציאות, אין טעם בניסיון לשער כיצד "נראית באמת" המציאות כשלעצמה.

נכון, קשה לקבל את הרעיון הזה. בחיי היום-יום אנו חיים באשליה שהדימויים שאנו רואים נוצרים כתגובה אוטומטית לנעשה בעולם בלי כל מאמץ מצידנו. הדימויים החזותיים מרגישים כאילו הם קיימים בפועל שם בחוץ. מה שמקבע את האשליה הזאת הוא שאין לנו כל קושי לכאורה להעלים את העולם החזותי. כל שעלינו לעשות הוא לעצום את העיניים. כך נוצרת תחושה חזקה שהדימויים חייבים לבוא מבחוץ ולא ממבנים פנימיים כלשהם הנוצרים בתוך מוחנו.

אלא שבחינה דקדקנית של העובדות מעלה שוב תמונה מורכבת יותר. כך למשל, בדרך כלל כשאנחנו עוצמים את עינינו, העולם החזותי במוחנו נותר כשהיה. כך קורה פעמים רבות ביום כשאנחנו ממצמצים. העובדה שהעולם אינו מאפיל בכל פעם שאנחנו ממצמצים היא הוכחה נוספת לנתק הקיים בין הראייה לבין המציאות הפיזית. ניתן להראות שהדבר לא נובע מכך שהמציאות היא קצרים מטבעם, גם עצימת העיניים למשך זמן ארוך יותר אינה מונעת את נוכחות הדימויים החזותיים, כפי שאנו חווים מדי לילה בזמן החלום. אפשר שזו ההוכחה הדרמטית ביותר לכך שדימויים חזותיים עשויים להיווצר בלי קשר למציאות חיצונית אובייקטיבית.

כל העובדות הללו מביאות אותנו למסקנה בלתי נמנעת: התפיסות החזותיות שאנו חווים הן "צירה" פנימית של המוח, ואינן אלא סימולציה משוערכת בלבד, או דגם מקורב של העולם הפיזי האובייקטיבי.

מה אנחנו רואים?

המסקנה אכן נשמעת מנוגדת לכל הגיון ומעלה לפחות שלוש שאלות מתבקשות.

הראשונה: **אם מה שאנחנו רואים אינו העולם האמיתי, מה אנחנו רואים?** השנייה: **אם המציאות שאנו מייצגים היא רק מציאות משוערת - כיצד קורה שאנחנו מיטיבים לתפקד במציאות האובייקטיבית, שלכאורה אנו עיוורים לה?**

השלישית: **אם אנו יוצרים את הדימויים החזותיים בכוחות עצמנו בלבד - כיצד קורה שבמקרים רבים אנחנו רואים את הדברים באותו אופן?** התשובה לשאלות הללו, כמו לרוב שאלות היסוד בביווגיה, מתייחסת בהכרח ליסודות החשיבה הביווגית - היינו, לתיאוריית האבולוציה באמצעות הברירה הטבעית מבית היוצר של דרווין.

על פי תיאוריית האבולוציה אפשר להסביר את כל התהליכים הביווגיים ככלים שאפשרו את הישרדות הפרט. אם ניישם עקרון בסיסי זה לתפיסה החזותית, נוכל לומר שהתפיסות החזותיות שלנו נוצרות על מנת לאפשר לנו תפקוד אופטימלי והישרדות בעולם הפיזי. כדי לאפשר לנו לתפקד בעולם כראוי, חייבות המערכות החושיות שלנו בכלל, ומערכת הראייה בפרט, ליצור מודל מעשי (או היעיל ביותר לצרכינו) של המציאות הפיזית. מודל שכזה חייב לאפשר לנו לתפקד בצורה תקינה, אבל אינו צריך בהכרח לייצג במדויק את המציאות החיצונית.

אפילו להיפך. כדי שנבטיח יכולת הישרדות אופטימלית, מבני התפיסה שלנו אינם יכולים להרשות לעצמם להיות עותק מדויק של הפרמטרים הפיזיים, שכן דיוק כזה בולם לא אחת פעולה מהירה ויעילה על סמך מידע חושי דומשמעי ולוקה בחסר. כך למשל, כדי להבטיח תפקוד מהיר, הדימויים החזותיים שאנו יוצרים חייבים כמעט תמיד להתרחק מהייצוג הנכון של המידע ולהסתמך על "קיצורי דרך" ועל ניוושים טובים, שהם פרי הניסיון שלנו והציפיות שאנו בונים כלפי הסביבה.

מסקנה: **מערכת הראייה שלנו אינה עוסקת בקליטה מדויקת של מה שנמצא בעולם הפיזי, אלא בבניית מודל של מציאות חיצונית המועיל להישרדותנו ומאפשר לנו לתפקד ביעילות בעולם.** וריאציה של רעיון זה ניתן למצוא כבר אצל גדול הפילוסופים המודרניים, עמנואל קאנט, אשר הציע ב"מהפכה הקופרניקאית" שלו את הרעיון שאנו תופסים את העולם על פי "המסננת או המשקפיים" שלנו ולא בצורה שהוא קיים כשלעצמו. כלומר, האדם משליך מקטגוריות פנימיות שלו על המציאות שהוא בונה.

עכשיו נוכל לחזור לתחילת המאמר, לפיזיקת הקוואנטים ותורת היחסות, ולהבין מדוע האינטואיציה מכזיבה אותנו ברגע שאנו מתרחקים מה"ממדים" היומיומיים שלנו וגולשים לתחום הקטן (קוואנטום) או הגדול (תורת יחסות). הממדים הללו "שוניים מהחיים" ופשוט אינם מועילים בפועל לפעילות היומיומית ולכן גם לא להישרדותו של המין האנושי. וממילא אין טעם שמנגנוני המוח ייצרו עבורנו דימויים חושיים (או יפתחו אינטואיציות המבוססות על התפיסה החושית) על סמך הממדים הלא-מעשיים הללו.

התשובה לשאלה הראשונה - מה משקף העולם החזותי שלנו? - היא, אם כן, שהוא משקף מודל פרגמטי של אותם היבטים של העולם הפיזי

סימולציות זהות של המציאות. העניין המכריע הוא, שאל לנו לטעות בתגובות המשותפות הללו ולייחס אותן למציאות חיצונית אובייקטיבית, בדיוק כשם שלא יעלה על דעתנו לראות במקרה של היסטריה המונית, שהיא מעין "הסכס" משותף לרבים, הוכחה לכך שהיא עולה בקנה אחד עם אמת אובייקטיבית כלשהי.

עכשיו נוכל לבחון אם אופני התפיסה החזותית שלנו קשורים לחידתיות של מכניקת הקוואנטים והבעיה של גוף־נפש. גם אם לא אתיימר לפתור את הבעיות המופלאות הללו אשר מעסיקות כבר דורות של מדענים, ברצוני לטעון שמבחינת התפיסה החושית שאותה הצענו כאן, יש לשתי הבעיות הללו היבטים משותפים, מסקרנים ומעוררי מחשבה.

מכניקת הקוואנטים: האם "קריסת" פונקציית הגל היא אשליה תפיסתית?

לרעיון שתפיסתנו החזותית מאפשרת לנו לתפקד היטב בעולם, אבל אינה מתארת אותו כפי שהוא, ניתן למצוא מאפיינים מקבילים במכניקת הקוואנטים. מכניקת הקוואנטים מצליחה לתאר בכלים מתמטיים את התנהגותם של חלקיקים יסודיים בדיוק שאין לו אח ורע בהיסטוריה של הפיזיקה. אך כל הניסיונות לבנות דגם אינטואיטיבי של תיאוריה כזו – "פרשנות מובנת אינטואיטיבית" – כשלו עד היום. לדעתי, אפשר לייחס <<

הנחוצים להישרדות. למערכת החושית של האדם אין לכן בשום פנים ואופן "מטרה" של יצירת ייצוג מדויק של המאפיינים האובייקטיביים של העולם הפיזי.

תפיסת הראייה האבולוציונית מסבירה גם את השאלה השנייה, הנוגעת ליעילותה של מערכת הראייה בחיי היומיום שלנו. דווקא משום שהמערכת הזאת אינה מנסה לתאר את המציאות כהווייתה, בצורה נכונה ומדויקת, אנו יכולים לשרוד טוב כליך בעולם. אילו היה המצב שונה, כלומר אילו שיקפה מערכת הראייה באמת את העולם הפיזי על כל פרטיו, היינו נכחדים.

ולשאלה השלישית: כיצד קורה שיש לנו חוויות חושיות משותפות רבות כליך, המקובלות ומוסכמות על כולנו? ראשית צריך לזכור, שלמרות שנדמה שיש לנו חוויות חושיות משותפות, יש גם דוגמאות רבות לכך שלא זה המצב. דוגמה פשוטה לכך אפשר למצוא בעניין הדימויים הדו־משמעיים (האגרטל והפנים). אם שני צופים יבחנו את הדימויים הללו בעת ובעונה אחת, הדעת נותנת שכל אחד מהם יעבור בין "פרשנות" אחת לשנייה בזמנו־הוא ובקצב שלו.

במישור מעשי יותר אכן נראה שאנחנו יוצרים דימויים חזותיים דומים בתנאים סביבתיים פיזיים דומים – משום שאנו יוצרים דומים (בעלי מטען גנטי ואורח חיים דומה), החולקים את אותם צרכי הישרדות ולחצים אבולוציוניים, ועקב כך מפתחים מערכות ראייה הנוטות לחולל



איור 3: עצמים בלתי אפשריים. הצורה באיור אינה יכולה להתקיים בעולם הפיזי. תמונה: Visual Photos

את הקושי לבנות פרשנויות קוואנטום כאלה לניתוק בין המציאות הפיזית לבין הדימוי המנטאלי של העולם שנוצר במוחנו.

נבחן לדוגמה בעיית יסוד בפרשנות של מכניקת הקוואנטים המכונה "קריסת" פונקציית הגל. מכניקת הקוואנטים מבוססת על מבנה מתמטי המכונה פונקציית הגל, המתייחס להתנהגותן של ישויות פיזיות כגון פוטונים ואלקטרונים בדיוק מדהים. למרבה הצער, לפונקציית הגל אין משמעות אינטואיטיבית. אי אפשר להסביר מה פירושה של פונקציית הגל.

בגליון "אודיסאה" 1 מסבירה פרופסור דורית אהרונוב בדיוק את עקרונות הסופרפוזיציה המתואר כאן. מערכת קוואנטית יכולה להיות בשני מצבים בו־זמנית

ניתן למצוא לפונקציה זו מטפורה קרובה בכך שנטען כי לחלקיקים יסודיים כגון אלקטרונים אין מצב מוגדר (כגון תאוצה ומיקום), אלא הם פזורים כביכול על פני המרחב

והזמן, ויש מידה של סבירות שהם ימצאו כאן או שם.

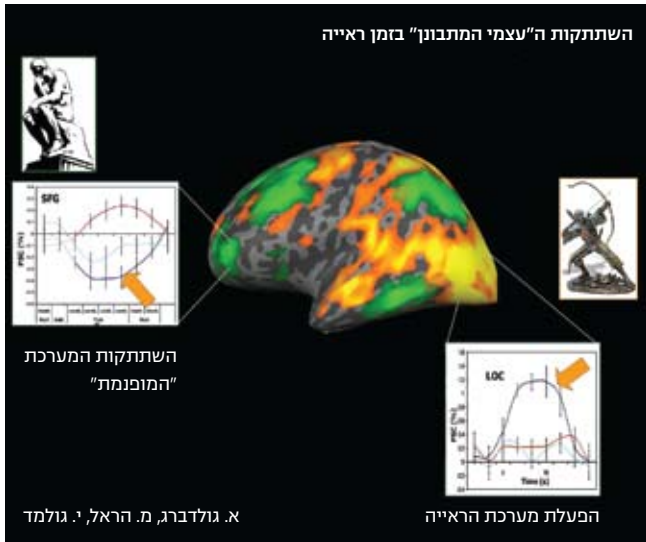
הבעיה היא שאנחנו לא מסוגלים לראות במוחנו התפלגויות כאלה של הסתברות או של פונקציית הגל של החלקיק. מה שאנו כן חווים הוא אירועים מוגדרים המתרחשים "באמת", למשל, זיק של אור. וכך, כאשר אנו רואים צבע אדום, החוויה לעולם לא תהיה תערובת (70% הסתברות אדום ו30% הסתברות כחול), החוויה היא תמיד אחת והיא ודאית. כלומר בניגוד לעולם הקוואנטים, הדימויים החזותיים שלנו אינם הסתברותיים אלא ודאיים ומוגדרים ומהווים מהות יחידתית ברורה. קיים אם כן פער בין יכולת הדימוי שלנו לתיאוריה הקוואנטית.

ניסיונות לפרש את התנהגות הקוואנטים התמקדו עד כה בניסיון לגשר על הפער הזה שבין פונקציית הגל המופשטת המבטאת רק הסתברויות לבין מה שמכונה העולם הפיזי ה"קלאסי", הודאי והמתאים לתפיסתנו.

המעבר הזה, מעולם של הסתברות לעולם של ודאות, כונה "קריסת" פונקציית הגל. קיימות פרשנויות רבות ומגוונות המתיימרות להסביר את הקריסה הזאת. בהיבמדה, תיאוריות אי־קריסה למיניהן נדרשו לפרשנויות מסובכות של "עולמות רבים", שבהם המציאות נעשית ודאית באמצעות "שכפול" היקום כולו בכל פעם שמתבצעת מדידה של מצב הקוואנטים.

אלא שהפער העמוק והיסודי בין המציאות הפיזית לדרכי תפיסת מוחנו עשוי לספק לנו נקודת מבט שונה לבעיה. אם מה שאנו רואים אינו המציאות הפיזית, אלא "המצאה" פנימית משלנו, אזי בעיית מכניקת הקוואנטים הופכת לגילוי נוסף, דרמטי במיוחד, של הפער בין העולם הפיזי לעולם התפיסתי. כלומר ה"מזרות" של הקוואנטים היא דוגמה מובהקת לרעיון, שאי אפשר לתאר או לראות, אפילו ברמה העקרונית, את המציאות הפיזית כפי שהיא קיימת באמת.

על־פי נקודת המבט שאני מציע, אין למעשה אף פעם קריסה בעולם הפיזי האמיתי. המציאות הפיזית נותרת תמיד מעין חפיפה של ההסתברויות. "קריסת" פונקציית הגל משקפת את המעבר מהמציאות הפיזית להתגבשותה של תפיסה חושית במוחו של המתבונן.



השתתקות ה"עצמי המתבונן" בזמן ראייה

השתתקות המערכת "המופנמת"

הפעלת מערכת הראייה

א. גולדברג, מ. הראל, י. גולמד

איור 4: יחסים אנטגוניסטיים בין המערכת ה"מוחצנת" למערכת ה"מופנמת" עצמי במהלך משימה של חוויה ראייתית חזקה. החיצים מצביעים על הפעלה גבוהה של הדמית תהודה מגנטית באונה האוקסיפיטלית (בחלק האחורי) שבמערכת ה"מוחצנת", בניגוד לירידה בפעילות של המערכת ה"מופנמת" עצמי בקדמת המוח. (מעובד מתוך Goldberg et. Al. -6, Golland et. Al. 07)

חשוב להבין שכאשר מתארת מכניקת הקוואנטים את הפיזיקה בממדיה האנושיים (גופים גדולים הבנויים מחלקיקים רבים), מתקרבת ממילא להתנהגות המזרה של הקוואנטים לפיזיקה הניוטונית ה"קלאסית", ולכן מבחינה מעשית, כלומר מבחינת היכולת ההישרדותית של האדם, נוכל להסתפק בסימולציה של העולם הניוטוני ולהתעלם בפועל מתופעות הקוואנטים.

אני טוען שכשם שאיננו יכולים לראות את המציאות הפיזית בכלל, כך איננו יכולים להבחין בהיבטי הקוואנטים שלה בפרט. עלינו לבחון את האופי המנוגד לאינטואיציה של מציאות הקוואנטים כבעיה של תפיסה אנושית, ולא כבעיה של הפיזיקה.

תיאוריות עצביות של התודעה

המצב מסתבך אף יותר כאשר אנו ניגשים לבחינת המוח והתודעה - כלומר הפער בין הפעולות הכימיות והפיזיות של המוח לתוצר של מחשבה ותודעה האנושית, ובלשונו של פרופסור ישעיהו ליבוביץ' - הבעיה הפסיכופיזית. למרות מאמצי מחקר נרחבים ומקיפים ולמרות כמות מרשימה של מידע על פעילות המוח על כל היבטיה - שורת תחושה עזה שאנו מהלכים באפלה בנוגע לתיאוריות עצביות של התודעה, כלומר תיאוריות המנסות להסביר את הופעתה של החוויה המודעת במונחים של פעילות פיזיקלית של תאי העצב.

ברצוני לטעון שלפחות חלק מהבעיה נעוץ בכך שכאשר אנו מנסים

מה שאנו מתבוננים בו או בוחנים בשגרת יומנו. חשוב להבין שכאשר יש לנו חוויה ראייתית או כל חוויה פנימית אחרת, מערכת פיזית (כגון המוח) מצליחה בדרך מופלאה להתבונן על מצבה היא **מבנים, מתוך עצמה**. אם הקוראים חשים אינוחות לנוכח רעיון מעורפל כזה, אין לי אלא להסכים איתם. צמיחתה של התנסות מודעת, כמו חווית הראייה, מתוך תהליכים פיזיים, היא מחוץ להישג ידה של האינטואיציה שלנו. מבנים מנטאליים, כגון תפיסה חושית, פשוט אינם מתאימים להתמודד עם פיזיקה מופלאה שכזו. נדמה שכמו במכניקת הקוואנטים, גם כאן הבעיה נעוצה בנייתו שבו המציאות הפיזית, במקרה זה בתופעה שבה חומר (המוח) מתבונן אל תוך עצמו לבין יכולתנו ליצור דימוי מנטאלי של התבוננות זו. כמו במכניקת הקוואנטים, אל לנו להציב מטרה של בניית דגמים אינטואיטיביים של התהליכים המופלאים הללו. מוטב שנתמקד במציאת תיאוריה העשויה לפשט ולנבא את המגוון העשיר להדהים של התופעות המכונות התנסות מודעת או תודעה.

ספק אם נוכל להסביר תיאוריה כזו במושגים אינטואיטיביים, אבל אם משלימים עם נקודת המבט המוגבלת הזאת, ניתן לראות שכמות לא מבוטלת של ממצאים מניסויים שנערכו לאחרונה, ניסויים שנחשבו כרלוונטיים רק לבעיית תהליכי ההצפנה ועיבוד המידע המתרחשים במוח, מהווים למעשה התקדמות חשובה להגשמת היעד המרגש של מציאת תיאוריה מדעית לחווית הראייה בפרט ולתודעה האנושית בכלל. ■

rafi.malach@gmail.com

ברצוני להודות ל-ISF על המימון, להגר. גלברד-שניב, רועי מוקמל, מיכל הראל, פרופ' צחק פריד ואילן גולדברג על תרומתם לנתונים המוצגים כאן, ולעידן שגב על הערותיו המועילות.

לבנות תיאוריה של חוויה מודעת, כגון יצירתה של תמונה ראייתית, שוב אנו נוטים להסתמך על דגם העולם האינטואיטיבי הטבעי שלנו. הבעיה בחקר התודעה מתחילה באימוץ נקודת המבט הטבעית שלנו - זו של **מתבונן מן החוץ** המסתכל על תופעה כלשהי אשר נמצאת מחוץ לו. אנו כמובן משתמשים בנקודת מבט (פרספקטיבה) זו כשאנו מנסים להבין את פעילות המוח. כמדעני מוח למשל, אנו מתייחסים אל המוח כאל כל עצם פיזיקלי חיצוני. אנו מנסים להבין את תפקודו על-ידי מדידת התכונות הפיזיות שלו - כגון רמת הפעילות החשמלית, מבנה הקשרים בין תאי העצב וכיוצא באלה.

יתרה מזאת, כאשר אנו מנסים להבין את פעילות המוח, אנו נוטים לא אחת להשליך את נקודת המבט שלנו כצופים על רשתות המוח עצמן. כלומר, אנו נוטים להניח שמרכזי המוח גם הם כמונו, "מתבוננים" ומודדים את הפעילות של מרכזי מוח אחרים.

נטייה זו, להתייחס לפעילות חלקי המוח השונים כאל מעין "התבוננות" הובילה לפרדיגמה פופולרית ומצליחה בתחום מדעי המוח החושיים, שמנסה להבין את משמעותם של דפוסי הפעילות של תאי העצב באזור מוח אחד מנקודת מבטו של מרכז מוח אחר, שאליו נשלח המידע. אותו אזור "גבוה יותר" במוח מתבונן או "קורא" את דפוסי הפעילות הללו ומוסיף עליהם פרשנות משלו. בלשון מטפורית ניתן לומר כי אזור המוח שבו מתרחשת הפעילות העצבית הוא מעין מסך קולנוע, והאזור ה"גבוה" הוא מעין צופה המתבונן או קורא או מפרש את הפעילות על המסך. האזור הגבוה הקורא יוצר לכאורה את התודעה.

מאמצי חישוב ומחקר רבים הושקעו בניסיון לפענח את ה"צפנים" של "סרטי הקולנוע" הללו, כגון מהם הכללים שעל-פיהם נוצר דגם הפעילות של תאי העצב, והיכן וכיצד פועלים המנגנונים האמורים לקרוא את המידע שבו. למרבה הצער, ממצאים שהתקבלו מניסויים שנערכו לאחרונה סותרים את הדפוסים האינטואיטיביים הללו. למשל במחקרים שערכנו בשיתוף עם אילן גולדברג, מיכל הראל ויוליה גולנד התגלה שבמהלך תפיסות חושיות רבות יעוצמה במיוחד, כאשר המוח ממוקד כולו ביצירת התמונה הראייתית - עושים מרכזי הפרשנות הגבוהים באונות הקדמיות, אשר היו אמורים להתבונן ולהביא את פעילות מרכזי הראייה אל המודעות, בדיוק את ההיפך מקריאה פעילה של המידע החזותי - הם מפסיקים לפעול! בכך הם מפקירים את מרכזי הראייה בצידו האחורי של המוח להתמודד לבדם עם משימת היצירה של התמונה הראייתית המודעת (ראה אזור 4).

במושגים כלליים יותר, תיאוריה המבוססת על שרשרת של אזורים ה"קוראים" זה את זה, אולי תוכל להסביר את המעבר מהפעלה פיזיקלית של העין לתגובה התנהגותית שניתן למדוד אותה, למשל התכווצות האישון בתגובה להבזק של אור. אך כלל לא ברור כיצד אמורה התפיסה המודעת, אותה חוויה של "אני רואה", להיווצר משרשרת, ארוכה ככל שתהיה, של העברת מידע סדרתי מתא עצב אחד לשני.

הבעיה היא שההתנסות המודעת שלנו היא תופעה ייחודית שונה מכל

רוצים לדעת יותר?

כמה ספרים נוספים בנושא:

על האספקט היצירתי של הראייה:
Eye and Brain by Richard L. Gregory.

על הקשר בין מוח ותודעה:
The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach by Christof Koch

A Universe Of Consciousness How Matter Becomes Imagination
by Gerald Edelman and Giulio Tononi

על בעיות בפרשנות מכניקת קוואנטים:
Quantum Enigma: Physics Encounters Consciousness by Bruce Rosenblum and Fred Kuttner